DET NORSKE SKOGFORSØKSVESEN, ÅS, NORGE
Norwegian Forest Research Institute, Ås, Norway

KETIL KOHMANN

Rotøkologiske undersøkelser på furu

I. Metodiske problemer og generelle rotforhold

Root Ecological Investigations on Pine (Pinus silvestris)

I. Problems of Methodology and General Root Relationships

ÅS 1972

Innholdsfortegnelse

1. Innledning 329
2. Metodikk 329
   2.1. Opptak av prøver 329
   2.2. Lagring av prøver 329
   2.3. Utspyling av røtter 330
   2.4. Levende eller døde røtter 330
   2.5. Sortering 331
   2.6. Lengdemåling og vektmåling 331
   2.7. Kjemiske analyser 332
3. Samplinganalyse 333
   3.1. Middelfeilens variasjon med prøveantallet og røttenes fordeling på de ulike sjikt 333
   3.2. Sammenhengen mellom rotlengde og tørrvekten av røtter 336
   3.3. Vekt, lengde og andre mål for rotmengde 341
4. Økologiske forhold 342
   4.1. Sammenheng mellom mengden av røtter (< 1 mm i diameter) i ulike sjikt 342
   4.2. Rotmengdens variasjon med avstand til nærmeste tre 343
   4.3. Variasjon i rotmengde gjennom sesongen 343
   4.4. Elementinnholdet i røtter og dets variasjon gjennom sesongen 346
   4.5. Tørkeforsøk 350
   4.6. Spesielle observasjoner 350
5. Sammendrag 353

Problems of Methodology and General Root Relationships 355

Litteratur 357

Forord

Jeg vil få takke alle som har gitt meg hjelp til å få gjennomført de to arbeider om rotøkologiske forhold. Det er få av Skogforsøksvesenets vitenskapelige personell som jeg ikke har vært i kontakt med vedrørende dette arbeid.

Likevel vil jeg særlig få takke professor Kristian Bjor og forsøksleder Martin Sandvik som hver på sine områder har ydet konstruktiv bistand.

Spesiell takk fortjener også laboratoriets personell for utvist tålmodighet med meg.

Professor George Kenneth Rutherford som har gjort det engelske sammendrag mere leselig fortjener også ekstra takk.

Det er ellers forfatterens håp og intensjoner at disse mere registrerende undersøkelser kan bli fulgt opp av detaljerte og kontrollerte eksperimenter.

Vollebekk 3/9–1970.

Ketil Kohmann

1. Innledning

Karakteristisk for mange planteøkologiske undersøkelser er at spørsmål vedrørende røttene ofte er blitt utelatt. Dette kan ha hatt flere årsaker. Det kan være nok å nevne de metodiske problemer, samt at vår oppmerksomhet og interesse (kanskje naturlig nok) først og fremst har vært knyttet til plantenes overjordiske deler.

Før eller senere vil det imidlertid komme spørsmålsstillinger som krever mere inngående studier hvor også rotundersøkelser blir aktuelle. Dette har først fått aktualitet med hensyn på produksjon av planter til kultivering av skogarealer. I den senere tid har problemstillinger innen forskningen vedrørende bestandsgjødsling gitt rotforskning og rotundersøkelser øket aktualitet.

I dette arbeidet er metodiske og generelle spørsmål vedrørende røtter tatt opp. I et senere arbeide vil det bli redegjort for rotundersøkelser som er utført i forbindelse med gjødslingsforsøk.

Undersøkelsene i dette arbeidet er foretatt i eldre furubestand i Busterud skog, ca.1 km sør for Sperillen i Buskerud fylke.

2. Metodikk

2.1 *Opptak av prøver*

Rotprøven ble tatt opp ved hjelp av et stålrør (d = 4,8 cm) med skarpslipt egg. Røret ble presset ned i jorden til ønsket dybde. Ved å vri røret rundt og trekke det forsiktig opp igjen fulgte jordprøven intakt med. I meget tørr jord kunne det være vanskelig å få prøvene opp hele. Det ble da foretatt en svak sammenpressing av jorden inne i røret før opptak. Fra røret ble prøvene tatt over i plastposer.

2.2. *Lagring av prøver*

Etter opptak ble prøvene så fort som mulig lagt på fryselager hvor temperaturen var —6°C. Dette ble gjort for å bevare røttene best mulig i sin opprinnelige form – hindre forråtnelse, uttørring og innskrumping.

2.3. *Utspyling av røtter*

For å få røttene ut av jordprøvene, ble disse spylt med kaldt vann (5–10°C) under stort trykk. Spylingen ble foretatt i en sikt med 15–20 cm høye karmer (siktåpning = 2 mm for mineraljord og 3 mm for råhumusprøver).

Nærmere undersøkelser viste at bare en svært liten del av røttene gikk tapt ved slike sikteåpninger – anslagsvis mindre enn 1 %.

Spylingen viste seg også å være meget skånsom. Selv døde røtter hvor oppløsningen var langt fremskredet, forble i stor utstrekning intakte.

2.4. *Levende eller døde røtter.*

I en undersøkelse med store materialmengder er det avgjørende at man raskt kan bestemme om en rot er levende eller død. Det er derfor nødvendig å bruke enkle kriterier.

a) *Farge.* Døde røtter har oftest svart til svartbrun bark, men også levende røtter kan ha slik farge. Ved å skrape av barken kan man se fargen på bastlaget. Gulhvit farge indikerer levende vev.

b) *Konsistens.* Ved å skrape i barken får man et inntrykk av den mekaniske styrke i roten. Levende røtter som strekkes, viser en viss elastisitet før de rives over. Likeledes høres det en knasende lyd når man med en tynn pinsett klemmer om røttene. De to sistnevnte kriteria er av vesentlig betydning når det gjelder røtter $< 0{,}5$ mm i diameter.

c) *Flyteevne.* Tynne rotdeler ($d < 1$ mm) som flyter, er oftest gått i forråtnelse.

d) *Rotspisser.* En hvit, gulhvit og uforvede rotspiss er vanligvis et indisium på at resten av roten lever, men heller ikke dette gjelder absolutt.For å illustrere: røtter ble skåret over med boret på vanlig vis, men jordprøven ble ikke tatt opp før etter 11 dager. Etter denne periode viste få røtter tegn på å være døde. En rotbit på 3 cm lengde og 0,8 mm i diameter hadde en 2 mm hvit, nydannet rotspiss, mens ca. 1 cm i rotbitens andre ende var sterkt forråtnet. Denne noe spesielle behandling etterligner dog ikke prosesser som forekommer under naturlige forhold.

Fra et vitenskapelig synspunkt er det lite tilfredsstillende å måtte avgjøre vesentlige klassifiseringsspørsmål ved hjelp av skjønn. Men fordi tvilstilfellene alltid utgjør en uvesentlig del av den totale rotmengde, og fordi en eventuell skjevhet i avgjørelsene sannsynligvis vil gå igjen i samme grad på de ulike sammenligningsledd, er det lite å oppnå ved å bruke mere arbeidskrevende metoder.

2.5. *Sortering*

Etter vasking ble røttene fordelt på tre diameterklasser: < 1 mm, 1–2 mm og > 2 mm. (Se fig. 1 og 2.) Det ble brukt skyvelær for å bestemme hvilken diameterklasse den enkelte rot hørte med til. Røtter under 1 mm utgjør en enhet både morfologisk og fysiologisk. Ved flere andre rotundersøkelser (f.eks. KALELA 1949 og 1955) er 1 mm brukt som øvre grense for hva man kan kalle finrotfraksjonen.

2.6. *Lengdemåling og vektmåling*

Etter sortering ble røttene tørket ved 105°C i minst 6 timer, avkjølt i eksikator og veiet med en nøyaktighet på 1 %. Lengdemåling av røttene ble foretatt med passer før tørking.

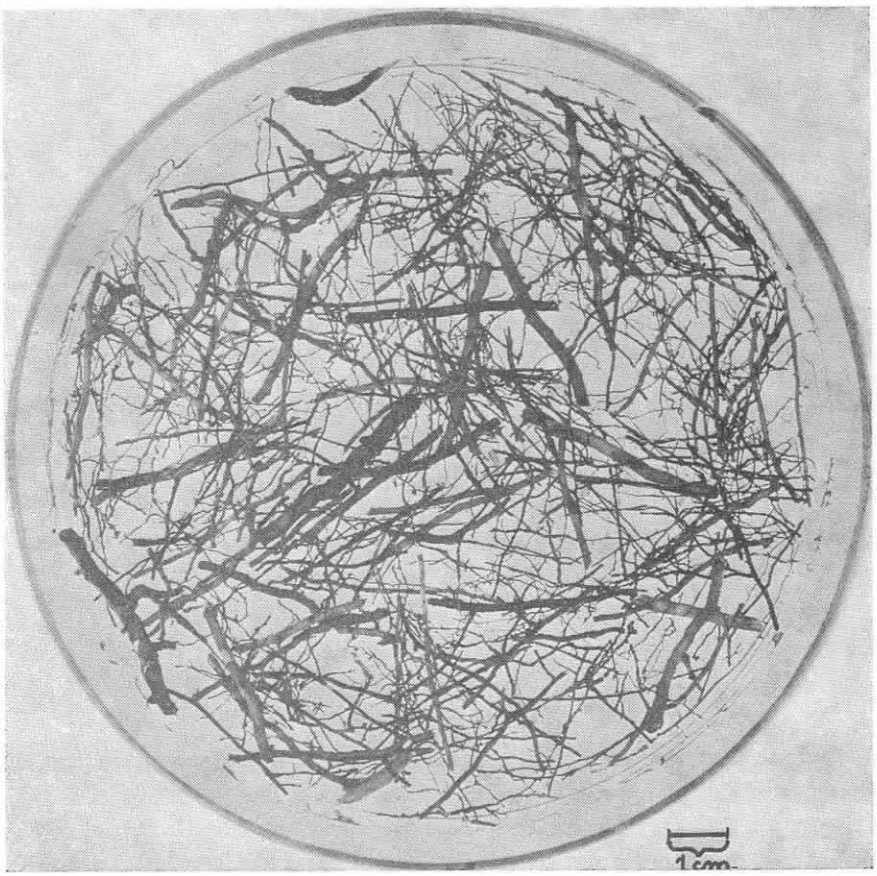


Fig. 1. Røtter fra råhumussjiktet før sortering. Sum av 16 enkeltprøver. Furuskog.
Unsorted roots from the raw humus layer. Total of 16 single samples. Pine forest.

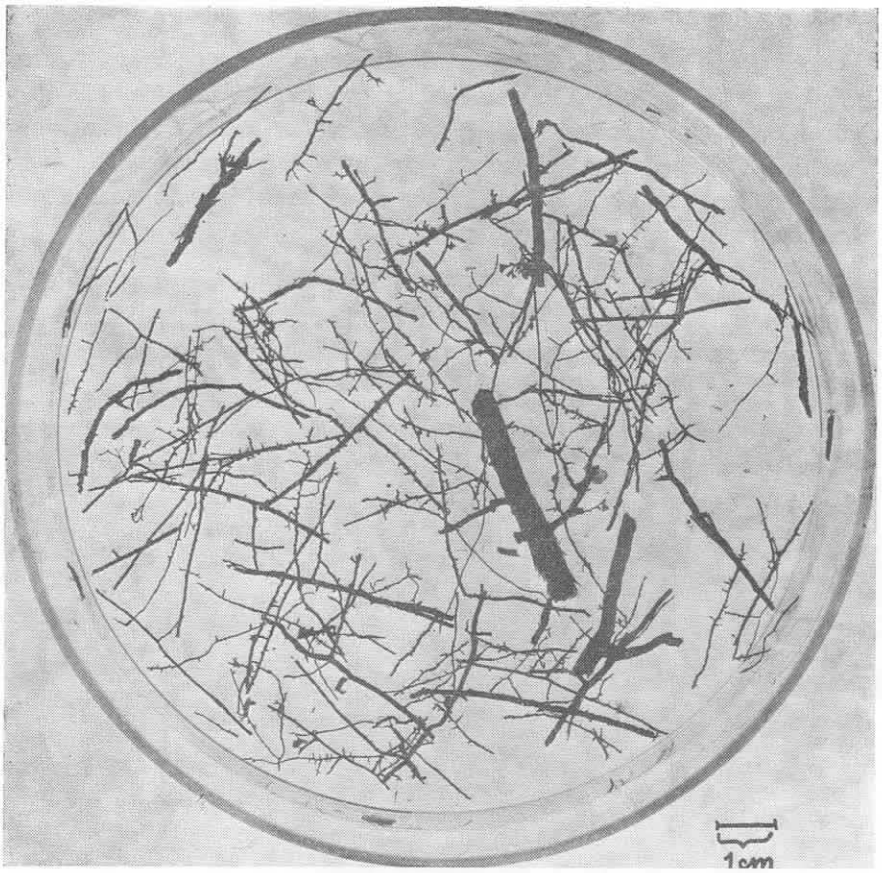


Fig. 2. Røtter fra mineraljordsjiktet 10–20 cm før sortering. Sum av 16 enkeltprøver. Furuskog.
Unsorted roots from the mineral soil layer 10–20 cm. Total of 16 single samples. Pine forest

2.7. *Kjemiske analyser*

Røttene ble etter veiing knust i morter og kjemisk analysert. Disse elementer inngikk i analysen: N, K, P, Ca, Mg og Mn.

Nitrogeninnholdet ble bestemt ved Kjeldalanalyse. For K, P, Ca, Mg og Mn er prøvene oppsluttet med en syreblanding av 1 del perklorsyre ($HC10_4$) og 2 deler salpetersyre (HNO_3). K ble bestemt flammefotometrisk, P kolorimetrisk og innholdet av Ca, Mg og Mn ved atomabsorpsjon.

3. Samplinganalyse

I tidligere rotundersøkelser hvor det har vært benyttet samme fremgangsmåte som i dette arbeidet for å estimere rotmengder i bestand, har det vært svært sparsomme opplysninger om antall prøver som er tatt opp pr. arealenhet, og om hvordan man har gått frem for å sammenligne rotmengder til forskjellige tider innen et bestand (jfr. f.eks. Kalelas arbeider).

Det er derfor forsøkt å komme frem til det antall prøver som må tas for å kunne estimere rotmengden i de øverste jordlag. Av hensyn til samplingsmetode er det også undersøkt hvordan fordelingen av disse røtter er i horisontalplanet.

Det er også undersøkt om man kan oppnå bedre estimering ved å øke jordborets diameter i stedet for å øke antall prøver. Forskjellige metoder for å estimere eller måle rotmengden etter utvasking er vurdert. Sammenheng mellom rotlengde og tørrstoffvekten innen ulike jordsjikt for ulike diameterklasser er undersøkt.

For å gi svar på disse spørsmål ble det på en rute (400 m^2) tatt opp 50 prøver i 4 sjikt, i alt 200 prøver. Sjiktinndelingen var som følger:

1) Råhumuslaget ned til mineraljorden. (Tykkelsen av dette sjikt varierte fra 2 til 8 cm.)
2) Fra mineraljordoverflaten og 5 cm ned, 0–5 cm-sjiktet.
3) 5–10 cm-sjiktet
4) 10–15 cm sjiktet

Rotprøvene (jordprøvene) ble tatt opp i et fast forband, 2 × 4 m, og for hvert opptak ble det notert avstand til nærmeste tre. For hver enkeltprøve ble både lengden målt og tørrstoffinnholdet veiet.

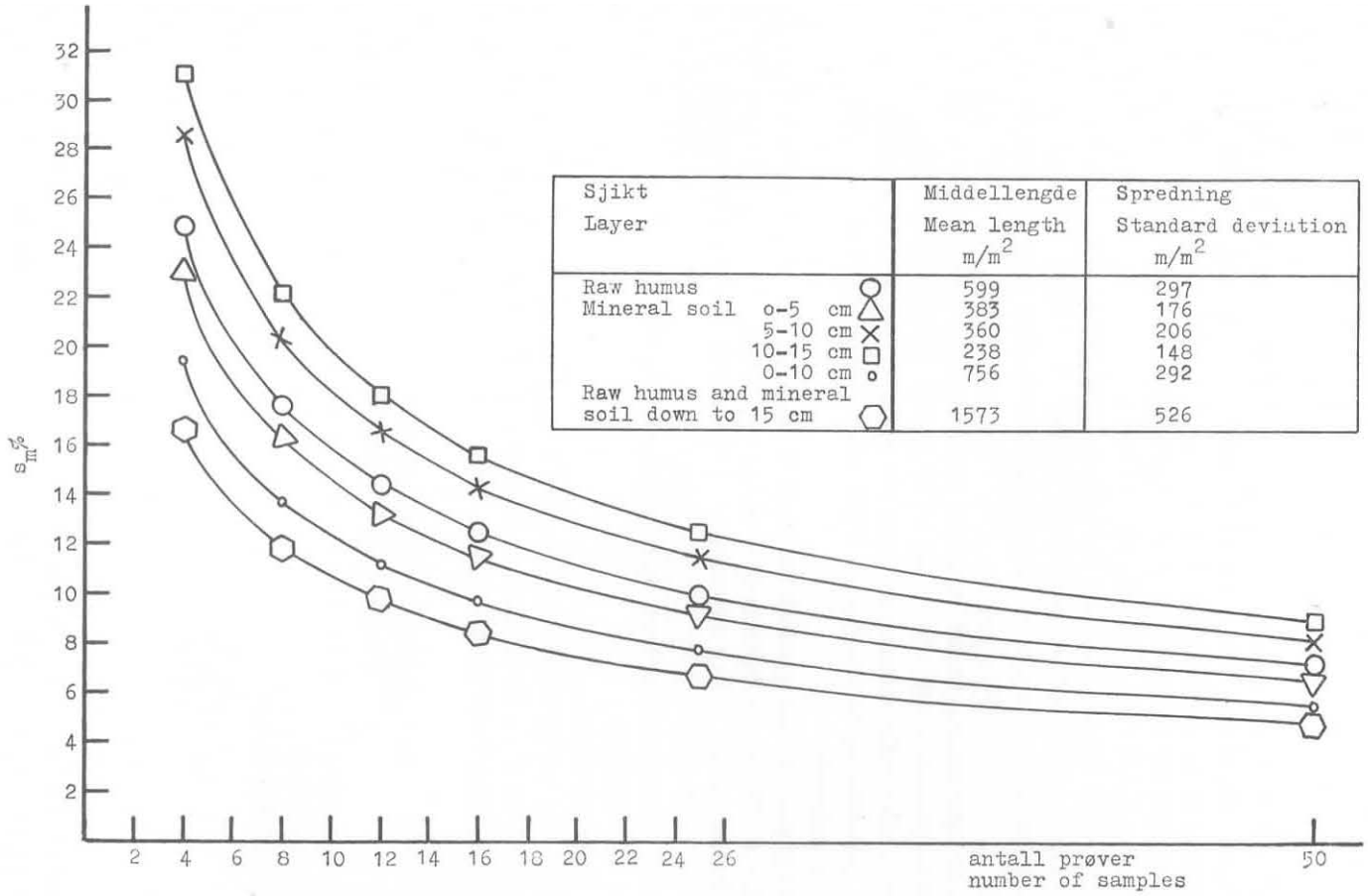
3.1. *Middelfeilens variasjon med prøveantallet og røttenes fordeling på de ulike sjikt*

For hvert sjikt er varians, spredning og middelfeil i prosent av sjiktets middelrotmengde (rotmengde pr. enkeltprøve) beregnet. Likeledes ble det beregnet middelfeilens variasjon med antall prøver etter formelen

$$s_m = \sqrt{\frac{V}{n}}$$

hvor V = varians og n = antall prøver.

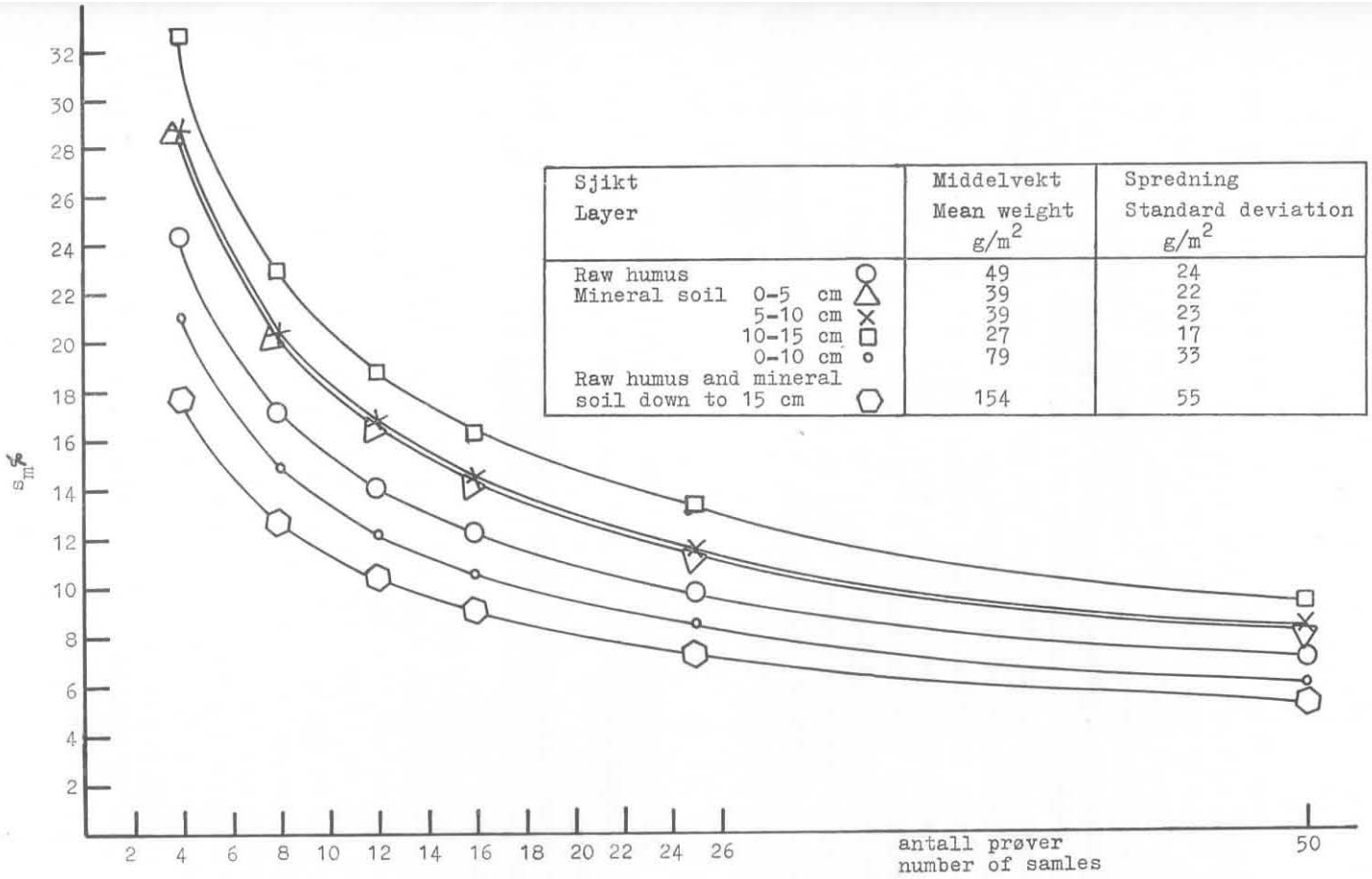
Fig. 3 viser middelfeilprosenten og dens variasjon med antall prøver for de ulike sjikt for røtter < 1 mm når disse er lengdemålt. Dessuten er middellengden pr. enkeltprøve uttrykt i m/m^2 og spredningen for denne også ført opp



Sjikt Layer	Middellengde Mean length m/m^2	Spredning Standard deviation m/m^2
Raw humus	599	297
Mineral soil 0-5 cm	383	176
5-10 cm	360	206
10-15 cm	238	148
0-10 cm	756	292
Raw humus and mineral soil down to 15 cm	1573	526

Fig. 3. Middelfeilprosentens variasjon med hensyn på antall prøver i ulike sjikt for lengdemålte røtter < 1 mm i diameter. Tallene for middellengden pr. enkeltprøve uttrykt i m/m^2 og spredningen er også satt opp.

The standard error of the mean (%) with respect to number of samples in different layers for roots < 1 mm in diameter when these are measured lengthwise. The mean length per single sample expressed in m/m^2 and the standard deviation are also included in the figure.



Sjikt Layer	Middelvekt Mean weight g/m^2	Spredning Standard deviation g/m^2
Raw humus	49	24
Mineral soil 0–5 cm	39	22
5–10 cm	39	23
10–15 cm	27	17
0–10 cm	79	33
Raw humus and mineral soil down to 15 cm	154	55

Fig. 4. Middelfeilprosentens variasjon med hensyn på antall prøver i ulike sjikt for røtter < 1 mm i diameter når disse er veiet. Tallene for middelvekten pr. enkeltprøve uttrykt i g/m^2 og spredningen er også satt opp.

The standard error of the mean (%) with respect to number of samples in different layers for roots < 1 mm in diameter when these are weighed. The mean weights per single sample expressed in g/m^2 and the standard deviation are also included in the figure.

i figuren. Kurvene viser at middelfeilprosenten blir minst når sjikttykkelsen øker (når sjiktene slåes sammen). Størst middelfeilprosent har 10–15 cm sjiktet hvor rotmengden er minst.

Fig. 4 viser tilsvarende kurver for vekt av finrotfraksjonen. Den samme tendens gjør seg gjeldende som for lengdemåling.

Fig. 5 viser en sammenligning av middelfeilprosenten når den er beregnet ut fra henholdsvis lengde og vekt for to sjikt, 0–10 cm og råhumussjiktet. Det går fram at for finrotmengden i råhumussjiktet har vektmåling gitt minst middelfeilprosent. I mineraljordsjiktene gir lengdemåling minst middelfeilprosent. Forskjellene er imidlertid ikke store. Av kurvene kan det vurderes hvor mange ekstraprøver man må ta hvis man vil basere seg på vektmåling og ha samme presisjon som for lengdemåling (i mineraljordsjiktene).

Fig. 6 viser middelfeilprosentens variasjon med antall prøver for to sjikt med hensyn på vektmåling og lengdemåling av røtter i diameterklassene 1–2 mm og $>$ 2 mm. Middellengden (vekten) og spredningen for disse er satt opp i tabellene 1 og 2. For diameterklasse 1–2 mm er det liten forskjell i middelfeilprosenter i mineraljordsjiktet, mens lengdemåling i råhumussjiktet gir langt mindre middelfeilprosent enn vektmåling. For røtter $>$ 2 mm er dette forhold enda mere utpreget.

3.2. *Sammenhengen mellom rotlengde og tørrvekten av røtter*

For finrotfraksjonen er det en nær sammenheng mellom lengdemål og vektmål (fig. 7).

For råhumussjiktet er korrelasjonskoeffisienten mellom vekt og lengde, $r = 0{,}97$, og for mineraljordsjiktet er $r = 0{,}97$. Begge koeffisienter er signifikante på 0.1 % nivået.

For råhumussjiktet: Y (cm) = 9,72 + 1,0648 X (mg)

For mineraljordsjiktet: Y (cm) = —0,638 + 0,984 X (mg).

Materialet er hentet fra Sperillenfeltet, og resultatene gjelder strengt tatt bare for dette felt. Likevel skulle det være tilrådelig å benytte disse formler for andre felt når man bare vil ha en antydning av størrelsesordenen.

Det ble beregnet formler for de ulike mineraljordsjikt, men de viste seg å være tilnærmet identiske. I humussjiktet går det flere cm røtter pr. vektenhet enn i mineraljordsjiktet. Dette skyldes antagelig at middeldiameteren for røtter $<$ 1 mm ligger lavere i råhumussjiktet enn i mineraljordsjiktet. Morfologisk har røttene også ulikt preg. (Se fig. 8 og fig. 9.)

Covariansanalysen viste at det var ingen forskjell på de rette kurvenes helning på 5 % nivået ($F_{1/54} = 1.2037$) mens testen for nivåforskjeller mellom

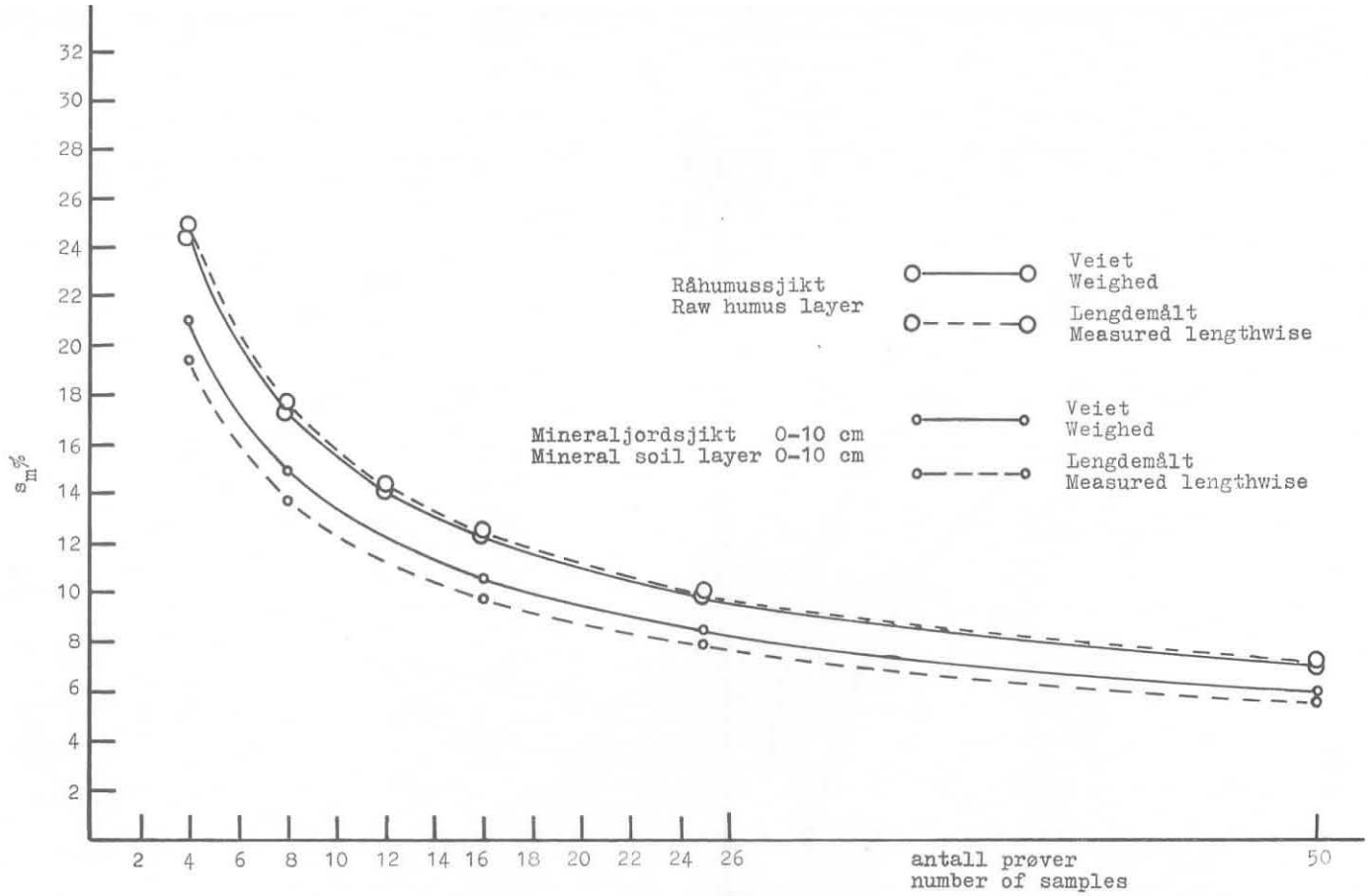


Fig. 5. En sammenligning av middelfeilprosenter når røtter < 1 mm i diameter er lengdemålt og når disse er veiet. (For råhumussjiktet og mineraljordsjiktet 0–10 cm.)

The relation between the standard error of the mean (%) when roots < 1 mm in diameter are measured lengthwise and when these are weighed. (Raw humus layer and mineral soil layer 0–10 cm.)

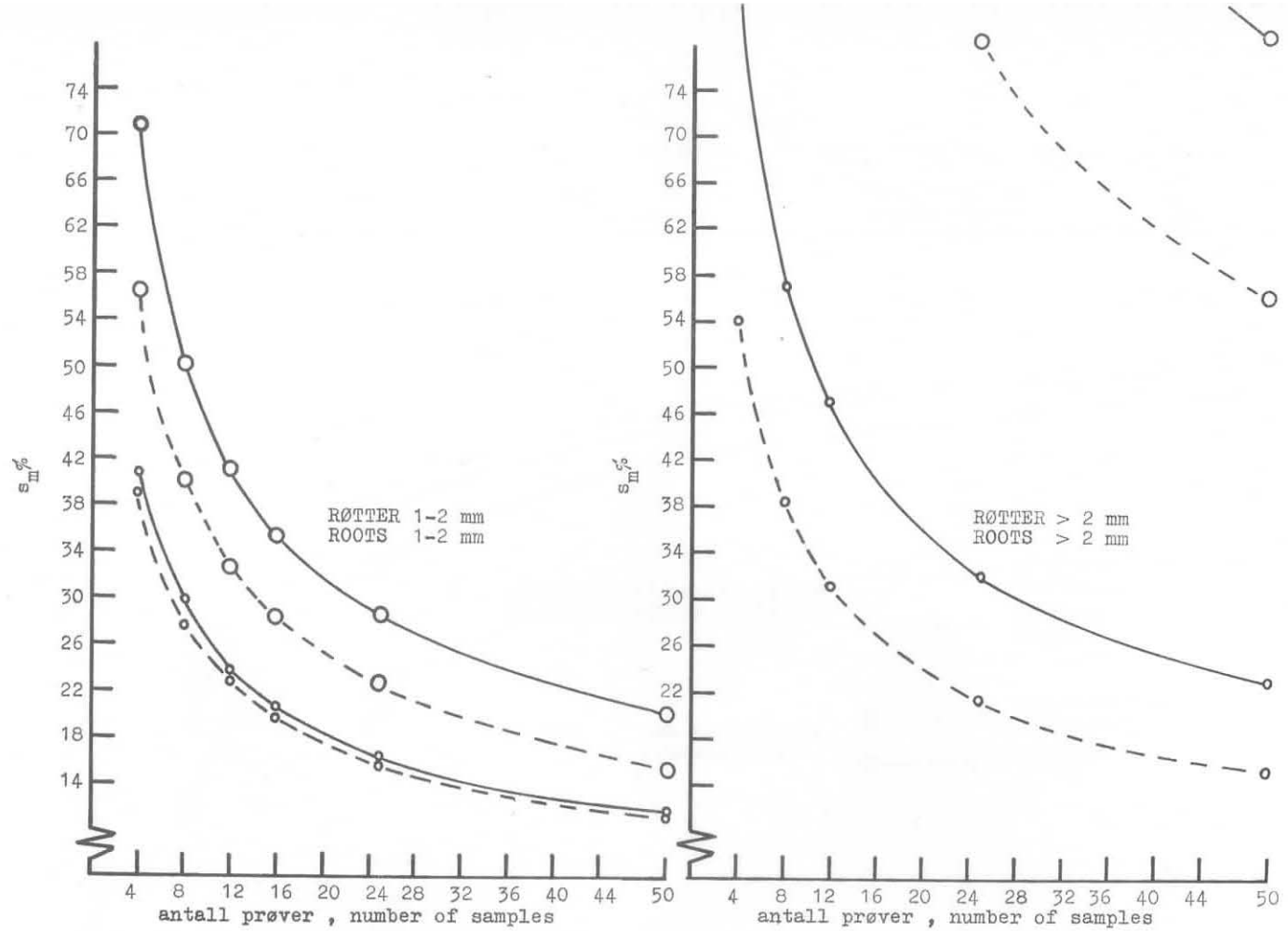


Fig. 6. Middelfeilprosentens variasjon med antall prøver for vekt- og lengdemåling av røtter i diameterklassene 1–2 mm og > 2 mm. (råhumussjikt og mineraljordsjiktet 0–10 cm.) Signatur: se fig. 5.

The standard error of the mean (%) with respect to number of samples, weight and length of roots in the diameter classes 1–2 mm and > 2 mm. (Raw humus layer and the mineral soil layer 0–10 cm.) Symbols: see Fig. 5.

Tabell 1. Middelvekt og middellengde pr. enkeltprøve uttrykt i m/m^2 (g/m^2) og spredningen for røtter i diameterklassen 1–2 mm.

Table 1. The mean weight and length per single sample (m/m^2 and g/m^2) and the standard deviation for roots in the diameter class 1–2 mm

Sjikt *Layer*	Vekt (Spredning) *Weight (Standard deviation) g/m^2*	Lengde (Spredning) *Length (Standard deviation) m/m^2*
Mineraljord 0–10 cm *Mineral soil 0–10 cm* .	33.7 (27.6)	58.1 (45.3)
Råhumussjikt ..... *Raw humus layer*	116.1 (165.8)	22.1 (24.8)

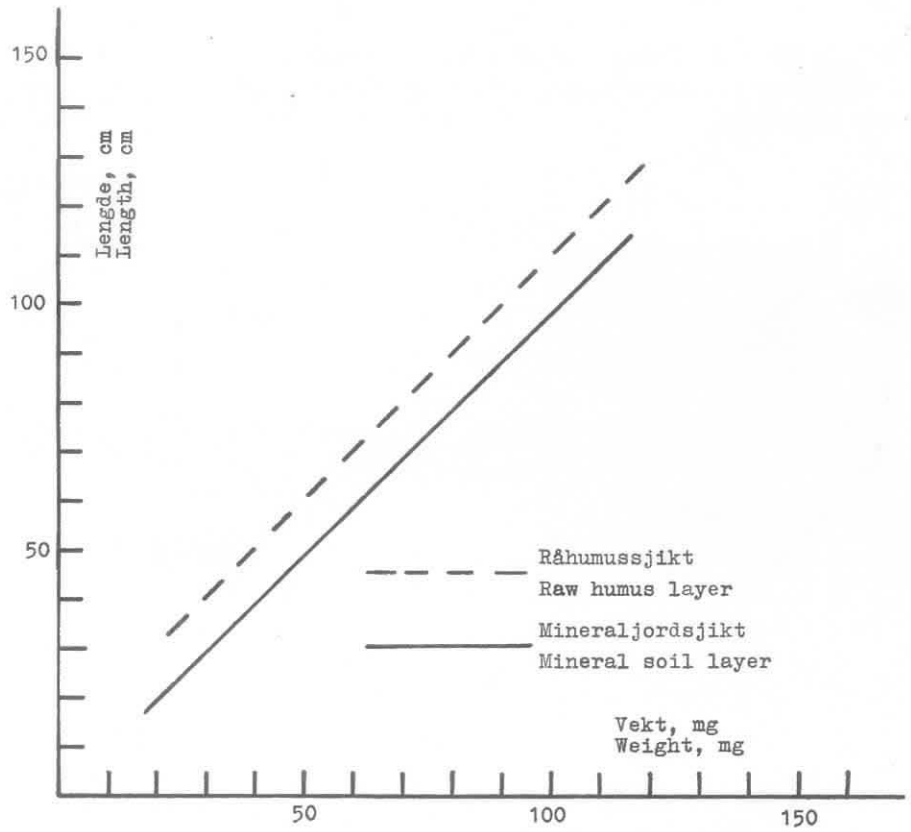


Fig. 7. Sammenhengen mellom lengde (cm) og tørrstoffvekt (mg) for røtter < 1 mm i diameter.

The relation between length (cm) and dry matter weight (mg) of roots < 1 mm i diameter.

Tabell 2. Middelvekt og middellengde pr. enkeltprøve uttrykt i m/m^2 (g/m^2) og spredningen for røtter i diameterklassen $>$ 2 mm.

Table 2. The mean weight and length per single sample (m/m^2 and g/m^2) and the standard deviation for roots in the diameter class $>$ 2 mm.

Sjikt *Layer*	Vekt (Spredning) *Weight (Standard deviation) g/m^2*	Lengde (Spredning) *Length (Standard deviation) m/m^2*
Mineraljord 0–10 cm . *Mineral soil 0–10 cm .*	100.0 (162.0)	26.0 (28.1)
Råhumussjikt ..... *Raw humus layer .....*	4.9 (28.1)	1.1 (4.4)

kurvene viste signifikante forskjeller på 0,1 % nivået ($F_{1/54} = 109{,}21$). Det er derfor berettiget med to formler – èn for røtter i humussjiktet og en for røtter i mineraljordsjiktet.

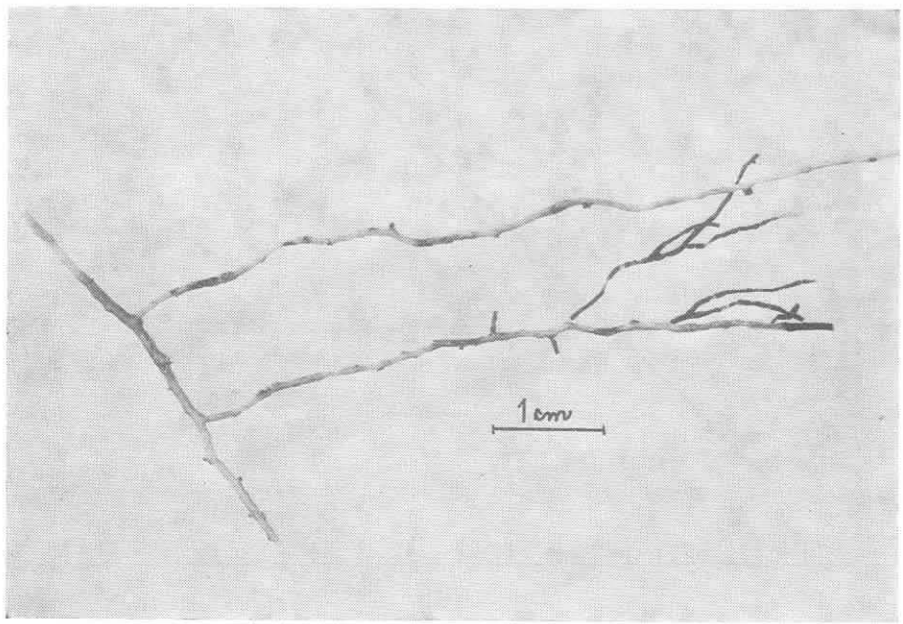


Fig. 8. Fururøtter fra råhumussjiktet.
Pine roots from the raw humus layer.

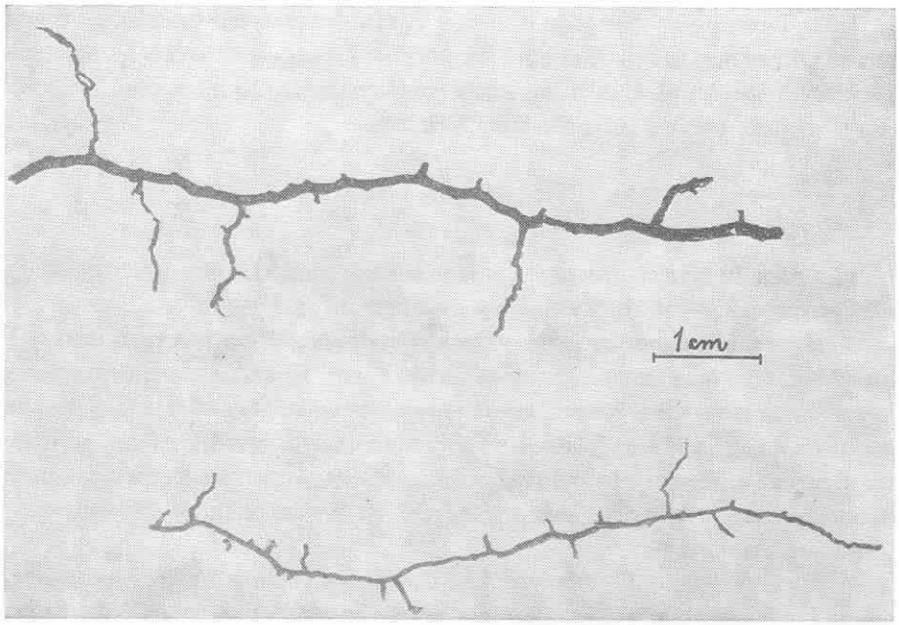


Fig. 9. Fururøtter fra mineraljordsjiktet.
Pine roots from the mineral soil layer.

3.3. *Vekt, lengde og andre mål for rotmengde*

Foruten direkte lengde eller vektmåling av røttene innen diameterklassene finnes også andre anvendelige metoder.

Estimering av røttenes overflate innen diameterklasser burde kanskje være det beste uttrykk for rotmengden, fordi røttenes overflate er nærmere knyttet til de fysiologiske prosesser. Estimering av overflaten lar seg gjøre ved å benytte enten en titreringsmetode eller en gravimetrisk metode (CARLEY and WATSON 1966.)

Metodene er best anvendelig på sammenhengende rotsystemer som man f.eks. har ved karforsøk med små planter. MELHUISH (1968) beskriver en metode hvor jordprøver impregneres med voks eller «plastrene 47». Vakuum benyttes. Senere kan prøvene snittes, farges og forograferes. På fotografiene kan snittflaten på røttene måles.

Metoden er mest anvendelig for undersøkelse av ett-årige kulturvekster, hvor det er lite uvedkommende røtter i prøvene, og er bare anvendelig på jord som holder konsistensen etter opptaket. Metoden kan vanskelig la seg anvende i en masseundersøkelse.

Etter sortering kan lengden av røtter også estimeres ved bruk av en takstmetode, hvor man sprer takstlinjer (lengden = H) utover et areal (A). Røttene spredes tilfeldig ut på arealet, og antall overkryssinger (N) telles opp. Lengden (R) av røttene kan da beregnes etter formelen

$$R = \frac{3{,}14\ N\ A}{2\ H}.$$ (MATERN 1964; NEWMAN 1966.)

Metoden har vært prøvet i den foreligende undersøkelse, men ga langt dårligere resultat enn direkte måling av lengden.

Valg av målemetode er først og fremst et spørsmål om hva man ønsker å observere. Er man interessert i et uttrykk for rotsystemets absorberende kapasitet, er rotsystemets overflate det beste kriterium. Men også vekt og lengde innen diameterklassene vil være korrelert med overflaten. Vektmåling gir etter foreliggende undersøkelse et brukbart uttrykk for rotmengdene. Men jo videre diameterklassene blir satt, desto dårligere vil sammenhengen mellom vekt, lengde og overflate bli.

AITOLAHTI (1969) konkluderte med at lengdemåling beskrev rotkvantitetene mye bedre enn veiing, men han hadde ikke delt røttene inn i diameterklasser.

4. Økologiske forhold

4.1. *Sammenheng mellom mengden av røtter (< 1 mm i diameter) i ulike sjikt.*

Det er undersøkt hvorvidt det er sammenheng mellom rotmengdene (< 1 mm) i tilgrensende sjikt på to materialgrupper. Korrelasjonsberegning mellom råhumussjiktet og 0–5 cm sjiktet og mellom 0–5 cm og 5–10 cm ble utført på den rute hvor det i alt ble tatt opp 200 enkeltprøver. Beregningen ble her basert på enkeltprøver. Korrelasjonskoeffisienten mellom rotmengdene i råhumussjikt og 0–5 cm sjikt ble, r = 0,56, t-test ga signifikans på 0,1 % nivået (t = 4,57, n = 50). For 0–5 cm og 5–10 cm sjiktet ble r = 0,002 (t = 0,0).

I det andre tilfellet ble korrelasjonsberegningene basert på prøver fra 13 enkeltruter som ble tatt opp samtidig. På hver rute ble tatt opp 12 prøver med 3 sjikt: råhumus, 0–10 og 10–20 cm.

Dette materialet ga en korrelasjonskoeffisient r = 0,53 for råhumus- og 0–5 cm-sjiktene og r = 0,43 for 0–10 og 10–20 cm-sjiktene. Korrelasjonen var ikke signifikant på 5 % nivået (t = 2,07 og 1,58 for n = 13).

4.2. *Rotmengdens variasjon med avstand til nærmeste tre.*

På den rute hvor det ble tatt opp 200 enkeltprøver, ble det som før nevnt målt avstand fra prøvestedet til nærmeste tre.

Korrelasjonsberegningen ga r = —0,08 for sammenheng mellom avstand og rotvekt (< 1 mm) både for humusdekket og mineraljorden.

På Sperillfeltet er det således ikke funnet noen sammenheng mellom rotmengde og gruppering av trærne. Det er imidlertid visse grupperingstendenser (nabokorrelasjon) for rotmengder av samme størrelsesorden.

LADEFOGED (1938) finner imidlertid at med stigende alder på bestandet avtar antallet av de absorberende «kortrödder» sterkt fra rotsystemets periferi og inn mot systemets sentrale deler.

Denne tendens er størst på tung, fuktig jord og minst utpreget på lett og tørr jord.

4.3. *Variasjon i rotmengde gjennom sesongen.*

Ca. hver 14. dag fra 6/5 til 16/10 ble det tatt opp 12 prøver med 4 sjikt fra en rute (400 m²) som beskrevet under «Metodikk».
Fra og med 21/6 ble det også tatt opp røtter i sjiktet 15–20 cm. Rutene ble trukket ut tilfeldig.

For å få et uttrykk for variasjonen i rotmengde mellom ruter når tidsfaktoren ble eliminert, ble det tatt prøver fra alle ruter samtidig. Det ble da tatt opp 3 sjikt: råhumus, 0–10 cm og 10–20 cm. Dette materialet ble i denne sammenheng brukt til to ting:

1) Beregne rotmengdens middelfeil og konfidensintervall for de ulike sjikt.
2) Korrigere rotmengdene fra tidsserien for de ulike sjikt, slik at forskjellen som skyldes ulik rute faller bort.

$Kr = Tr \cdot \frac{R}{\bar{R}}$, der Kr = korrigerte rotmengder, Tr = rotmengden observert i tidsserien og R = rotmengden på den enkelte rute observert ved samtidig opptak. $\bar{R}$ = middelrotmengden på alle ruter innen det enkelte sjikt. Tr og R er opptak på samme rute.

En slik korrigering har bare sin berettigelse dersom de endringer som foregår i tid skjer i samme grad på de enkelte ruter uavhengig av nivå-forskjeller i rotmengden.

Fig. 10 viser finrotfraksjonens variasjon gjennom vekstsesongen 1968 i 3 ulike sjikt, samt den daglige nedbør i perioden. I tab. 3 er konfidensintervallene for rotmengdene i to sjikt satt opp. Rotmengdene i 15–20 cm sjiktet ligger nokså konstant på ca. 80 m/m² (9.11 g/m²).

Tabell 3. Konfidensintervallets størrelse for rotmengde (m/m², røtter < 1 mm) i ulike sjikt. (Se fig. 10.)

Table 3. The size of the confidence interval for root quantity (see fig. 10.) in different layers (m/m², roots < 1 mm).

Sannsynlighet *Probability*	Konfidensintervall *Confidence interval* ($2ts_m$) m/m²	
	Råhumussjikt *Raw humus layer*	Mineraljordsjikt 0–10 cm *Mineral soil layer 0–10 cm*
p = 0.05	114	146
p = 0.01	150	205
p = 0.001	227	291

Nedbørsdataene skriver seg fra Killingstrømmen nedbørstasjon ved sydenden av Sperillen, ca. 1 km fra forsøksfeltet.

Nedbøren i bestandet ble dessuten målt med totalisator ved hver registrering, og disse data stemmer godt overens med tilsvarende data for Killingstrømmen nedbørstasjon. Nedbørsmålingene i bestandet lå hele tiden under de tilsvarende data for Killingstrømmen. Ved slutten av registreringsperioden var forskjellen kommet opp i 36,7 mm.

Kurvene i fig. 10 skulle gjenspeile vekst og avdøing av finrøttene. Det går frem av figurene at kurvene for de øvre sjikt er totoppete. I det underste sjikt er ikke denne tendens så tydelig.

KALELA (1955) påviser en lignende kurve for rotvekst hos furu i året 1950, og en ikke fullt så utpreget tendens til «totoppethet» i året 1951. Han forklarer dette ut fra nedbøren i løpet av vekstperioden. Hans konklusjoner med hensyn på vekstrytme er imidlertid at rotmengden øker fra våren av utover sommeren, når sitt maksimum i slutten av juli, hvoretter det er en jevn avdøing av røtter frem til høsten. Rotmengden ligger da på samme nivå som om våren. Han mener at dersom en får en periode på høy- og sensommer på 7–10 dager med pent vær, så fører dette med seg en vesentlig minking i rotmengdene.

Ved Sperillen var det i løpet av sommeren 1968 flere markerte tørkeperioder. Fra 19/5–3/6 (16 dager), fra 11/6 – 17/6 (7 dager) og fra 29/6 – 7/7 (9 dager)

Mellom disse perioder uten nedbør var også nedbøren svært liten. Disse tørkeperioder skulle således kunne forklare noe av nedgangen i rotmengde etter registreringen den 21/6. Sommerens lengste tørkeperiode er fra 26/7–11/8 (17 dager). I dagene 11/8 – 22/8 faller litt nedbør. Denne nedbørmengden er antakelig nok til å fukte råhumusen og de øverste centimetere av mineraljorden. Det kan være årsaken til at rotmengden igjen øker. Et lignende forhold

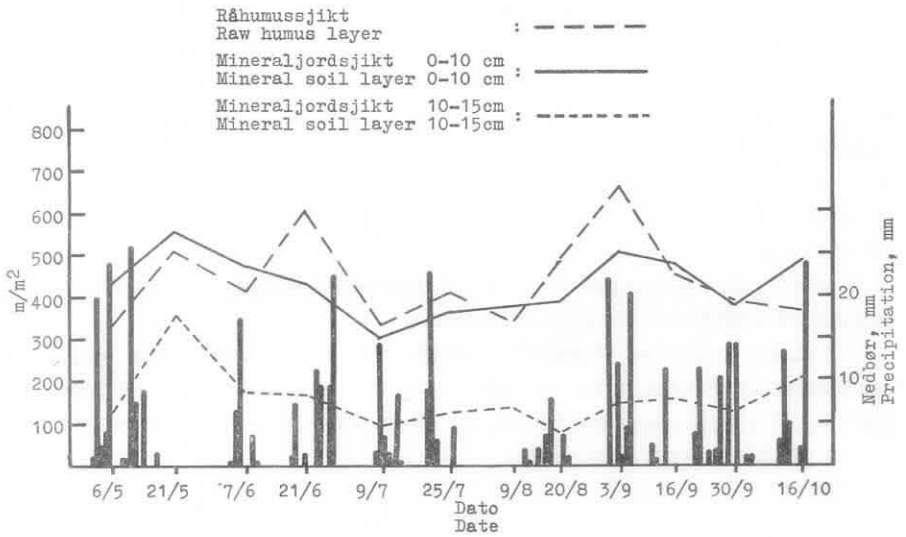


Fig. 10. Rotmengdens variasjon (m/m²) gjennom vekstsesongen 1968 i ulike sjikt for røtter < 1 mm i diameter. De daglige nedbørmengder er satt opp i blokkdiagram.

The quantity of roots < 1 mm in diameter through the growth season 1968 expressed in m/m² for different layers. The daily precipitation is presented as a block diagram.

gjør seg nok gjeldende den 21/6; nedbør i dagene 4. og 5. juni har vært nok til å fukte de øvre jordlag, og utslaget på rotmengden er størst i råhumussjiktet.

Det er vanskeligere å forklare det lave rotnivå ved registreringene 9/7, 25/7 og 9/8 som bare et utslag av liten fuktighet. Etter nedbørmengden å dømme, burde en kunne vente tørkeeffekter og eventuell nedgang i rotmengde først ved registreringen den 20/8. Det kan derfor virke som om finrotmengdene ikke bare er nedbørsstyrt. (Kfr. f.eks. BAGLAJ 1965.) Et slikt avbrudd av rotveksten i sommermånedene er også funnet ved andre undersøkelser, men den alminnelige oppfatning er at forholdet skyldes ugunstige vekstbetingelser – tørke eller høy temperatur. (LYR and HOFFMANN 1967.)

Temperaturen har, ved siden av fuktighetsforholdene, også avgjørende betydning for vekst hos røttene. Temperaturen kan imidlertid ikke forklare periodiske reduksjoner av rotmengden i løpet av vekstsesongen under naturlige forhold.

LADEFOGED (1939) som foretok sine undersøkelser på eldre trær i bestand, hvor han målte enkeltrøtters vekst, undersøkte ikke furu. Han konkluderer imidlertid med at veksten av «langrødder» er helt kontrollert av temperatur og fuktighet i jorden, Nydannelse av «kortrødder» ble iakttatt hele rotvekst-perioden hos alle treslag. Han fant også at nydannelsen var særlig livlig i

tørkeperioder sommer og høst når «langrøddernes» vekst avtok sterkt. HEIKURAINEN (1957) undersøkte rotforholdene i furubestand på myr gjennom året, og mener at nedbørs- og grunnvannsforholdene ikke forklarer endringene i rotmengde. HEIKURAINEN fant en nedgang i rotmengdene midtsommers, men fant også ,i likhet med LADEFOGED, at kortrøttenes vekst på denne tiden tiltok. I den foreliggende undersøkelse er kortrøtter og langrøtter målt sammen. Eventuelle endringer i langrøtters vekst kan derfor bli modifisert av kortrøttenes vekst.

Foregående års temperatur- og fuktighetsforhold kan også tenkes å ha avgjørende innflytelse for årets rotaktivitet.

En annen avgjørende faktor for overflaterotsystemets vekst kan også være om trærnes dyprotsystem har kontakt med grunnvannet eller ikke. På Sperillenfeltet ligger grunnvannet om sommeren på ca. 4 m, og det kan derfor ikke utelukkes at slik kontakt er til stede.

4.4. *Elementinnholdet i røtter og dets variasjon gjennom sesongen.*

I figurene 11, 12 og 13 er de prosentiske (av tørrstoffinnhold) verdier for 6 ulike næringselementer tegnet inn. Kurvene gjelder for de ulike sjikt og rotdiametre slik tegnforklaringen på figurene viser.

Av kurven for % N (fig. 11) går det klart frem at den største N-konsentrasjonen er i røttene < 1 mm i råhumusen, deretter følger finrøttene i 0–10 cm sjiktet og 10–20 cm sjiktet. Lavest konsentrasjon har 1–2 mm fraksjonen i sjiktet 0–10 cm. Enkeltanalyser tyder på at N-konsentrasjonen for 1–2 mm

Tabell 4. Konfidensintervallets størrelse for de ulike middelverdier for elementinnhold. (Se figurene 11, 12 og 13.)

Table 4. The size of the confidence interval for the mean values of element content in figures 11, 12 and 13.

Sjikt *Layer*	Diameterklasse *Diameter class*	Konfidensintervall *Confidence interval* ($2\ ts_{m,p} = 0.05$)					
		N	P	K	Mg	Mn	Ca
Råhumus ..... *Raw humus*	1 mm	0.036	0.014	0.036	0.028	0.002	0.048
Mineraljord ..... *Mineral soil 0–10 cm* ..	1 mm	0.064	0.026	0.074	0.016	0.020	0.076
Mineraljord ..... *Mineral soil 10–20 cm* ..	1 mm	0.054	0.022	0.078	0.068	0.032	0.092
Mineraljord ..... *Mineral soil 0–10 cm* ..	1–2 mm	–	–	–	–	–	–

fraksjonen i 10–20 cm sjiktet ligger noe under dette nivå igjen. Kurvene for P-konsentrasjonen ligger mere samlet, men viser klart at grøvre røtter har lavere konsentrasjon. Også for Ca (fig. 13) er denne tendensen klar, mens forholdene er mer varierte for K, Mg og Mn (fig. 12).

Av kurvene for P, N, K og Mn går det frem at maksimumspunktet faller ved registreringen den 3/9.

Kurvene for Ca varierer svært, både mellom sjikt og gjennom tid. De

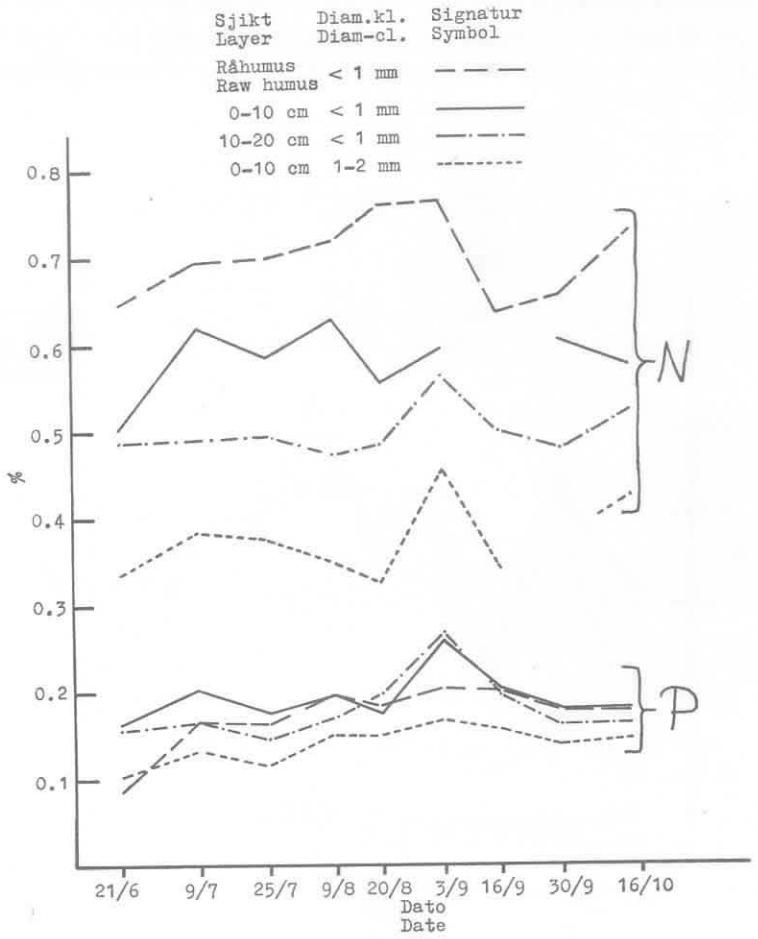


Fig. 11. Innholdet av N og P (% av tørrstoff) og dets variasjon gjennom vekstsesongen 1968.

The N and P contents (% of dry matter) and their variation through the growth season 1968.

største verdiene inntraff tidligere på sommeren, og den 3/9 var Ca-konsentrasjonen lav.

Den 9/7 har P-konsentrasjonen et lite maksimum, likeledes Mg, mens K og Ca har utpregete maksima.

Variasjoner i elementinnhold fra tid til tid kan skyldes ulike forhold. Det kan være uttrykk for en økning i næringsopptaket, det kan være uttrykk for vekstaktivitet, det kan skyldes intern transport av næringselementer, og kombinasjoner av disse faktorer. Ved vekstaktivitet vil elementkonsentrasjonen øke fordi tørrstoffinnholdet i en nydannet, sukkulent rot er mindre enn i eldre røtter. Intern transport av ioner kan ikke foregå i like stor grad for alle ioneslag. Ca er kjent for å være tungt bevegelig. (f.eks. KORONOWSKI 1969, side 68),

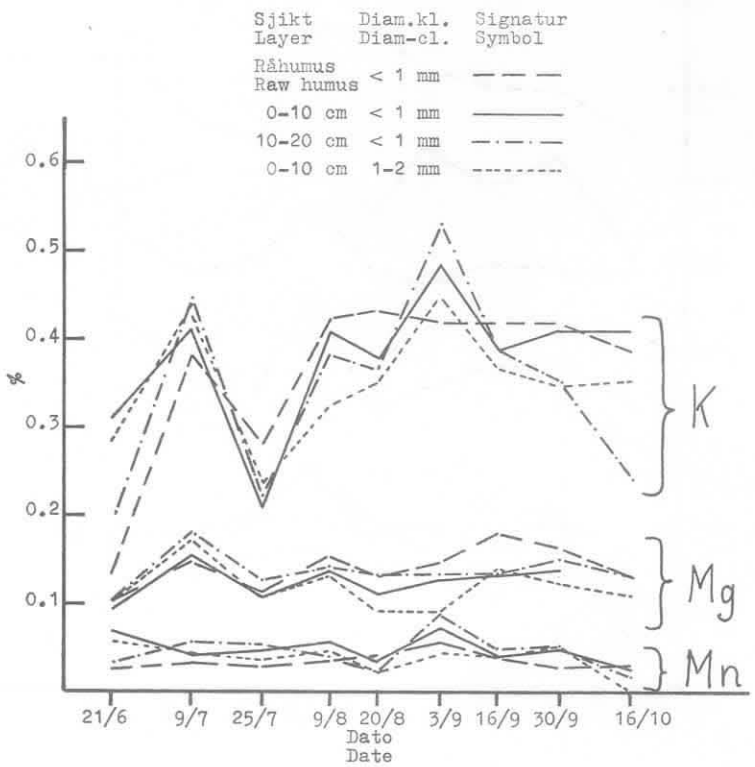


Fig. 12. Innholdet av K, Mg, Mn (% av tørrstoff) og dets variasjon gjennom vekstsesongen 1968.

The K, Mg and Mn contents (% of dry matter) and their variation through the growth season 1968.

mens N, K, P og Mn er lettere bevegelig. Ca som tidligere er tatt opp av planten, skulle derfor få mindre betydning for senere vekst.

I relasjon til kurvene for kalium kan man også ha in mente at rotcellene inneholder mange mitochondrier. Man kjenner ingen andre organiske strukturer som binder K-ioner så sterkt som mitochondriene (MENGEL 1961, side 116–17). Sammenligner man kurvene for endringer i rotmengde (fig. 10), går det frem at den 3/9 hvor det er registrert en stor rotmengde, også er en høy konsentrasjon av elementene nitrogen, kalium, fosfor og mangan. Konsentrasjonen av kalsium er derimot lav. Dette er et vanlig mønster for voksende plantedeler (SANDVIK 1969, muntlig meddelelse).

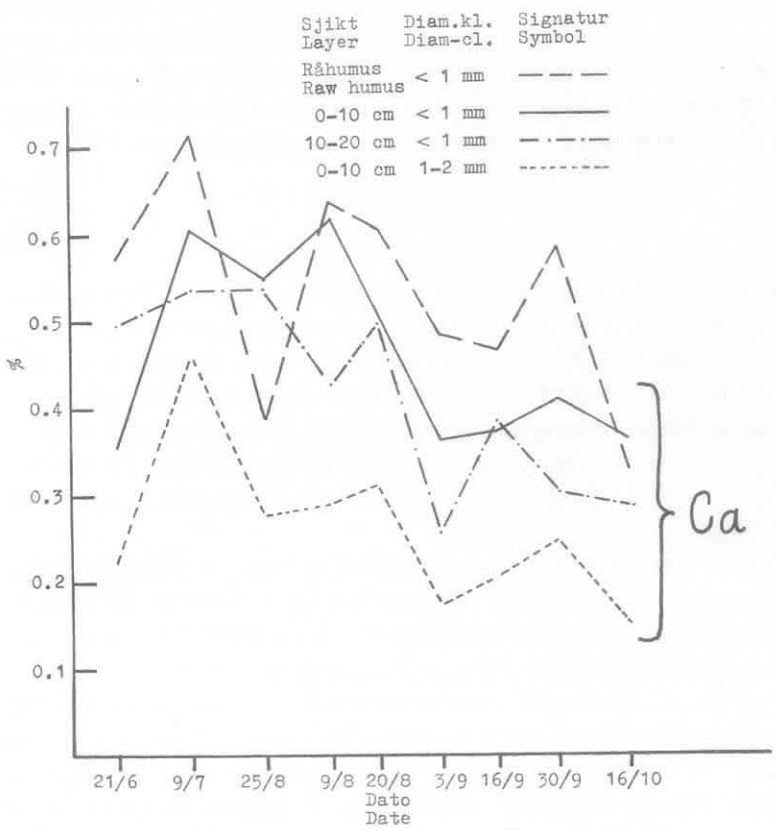


Fig. 13 Ca-innholdet (% av tørrstoff) og dets variasjon gjennom vekstsesongen 1968.

The Ca content (% of dry matter) and its variation through the growth season 1968

4.5. *Tørkeforsøk*

For nærmere å undersøke røttenes reaksjon på tørke, ble det sommeren 1969 spent opp 4 plasttak, hvert på 5 × 5 m, for å hindre nedbøren i å trenge ned til bakken. Med jevne mellomrom ble det så tatt opp rotprøver for å se om det foregikk noen vesentlig avdøing av røtter. Plasttakene sto oppe fra 3/6 til 26/9. I dette tidsrom kunne det ikke registreres rotavdøing til tross for at fuktigheten (i % av tørrvekten) i råhumussjiktet i gjennomsnitt lå på 32 % og mineraljorden i gjennomsnitt på 7 %. (Fuktigheten lå noe høyere i mineraljordsjiktet 0–10 cm enn i 10–20 cm.)

Dette eksperiment viser at så lenge deler av treet har adgang til vann, vil også vannbalansen i treets tørkeeksponerte deler bli opprettholdet.

Dette underbygges også av forsøk hvor enden på en rotgren ble skåret over og fikk tilførsel av vann med fargeløsning (fast green). Her ble det påvist, ikke bare en direkte transport av vannet til treets overjordiske deler, men også transport ut i andre, mere tørkeeksponerte rotgrener (KOHMANN 1970).

Tørkeforsøket indikerer også at trærnes suberiserte finrøtter er langt mere resistente overfor tørke enn mange har antatt (f.eks. KALELA 1955).

4.6. *Spesielle observasjoner*

Spørsmål vedrørende mykorrhiza er forsøkt unngått i denne undersøkelse. Til tross for dette skal det gjøres rede for et spesielt funn. Ved ett tilfelle ble det tatt en rotprøve fra Sperillfeltet hvor røttene i råhumussjiktet hadde en noe spesiell morfologi. Røttene var tynne, sterkt forgrenet og var nærmest gulhvite av farge, Mykorrhizatypen skilte seg ut fra annen mykorrhiza ved at hyfemantlene var svarte, og litt nedenfor mantlen satt oftest en eller to ringer. (Se fig. 14 og 15.) Mykorrhizaen hadde heller ikke den vanlige dichotome forgrening.

Det ble tatt råhumusprøver fra stedet hvor røttene kom fra og fra råhumusen omkring hvor røttenes morfologi var den sedvanlige. (Se f.eks. fig. 8 og 9.) Råhumustypene så også forskjellige ut. Den spesielle råhumusen var seig og fullstendig gjennomvevd av hyfer, 1–2 cm tykk mot ellers 2–8 cm.

Analyse av råhumusen viste store forskjeller med hensyn på lettløselig fosfor (DAMSGAARD-SØRENSENS metode). Mens det i råhumusen omkring var 0.008 % P, hadde denne spesielle råhumustypen et innhold på 0.034 % P. Likeledes var det forskjeller med hensyn på kalium- og kalsium-innhold. I den spesielle råhumustypen var det innhold på 6,32 milliekvivalenter K og 2,30 m.e. Ca, mens råhumusen omkring hadde 2,78 m.e. K og 9,05 m.e. Ca pr. 100 g.

Også for Mn var det store forskjeller, 0,31 m.e. Mn i den spesielle råhumusen

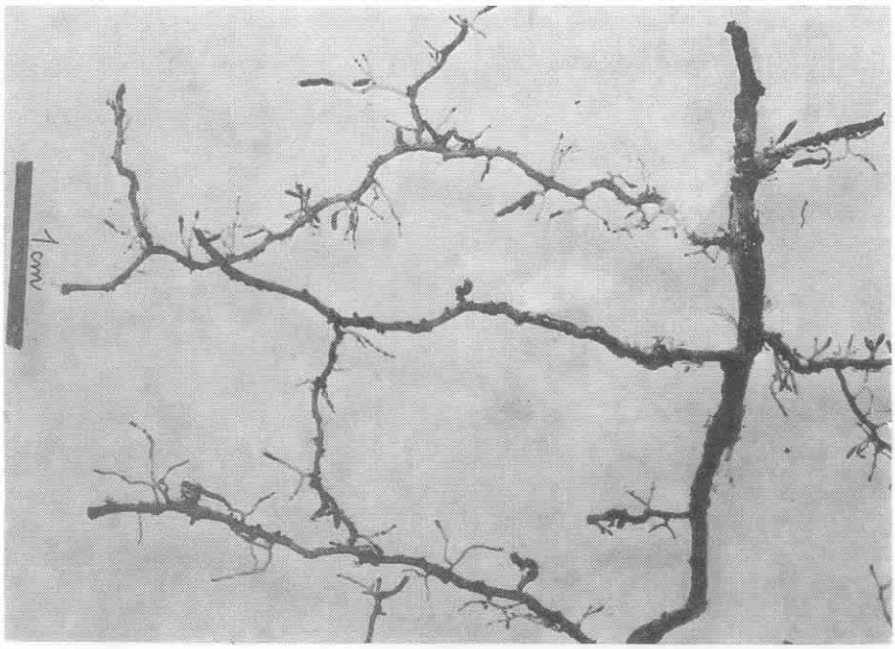


Fig. 14. Fururøtter med uvanlig utseende.
Pine roots with an unusual appearance.

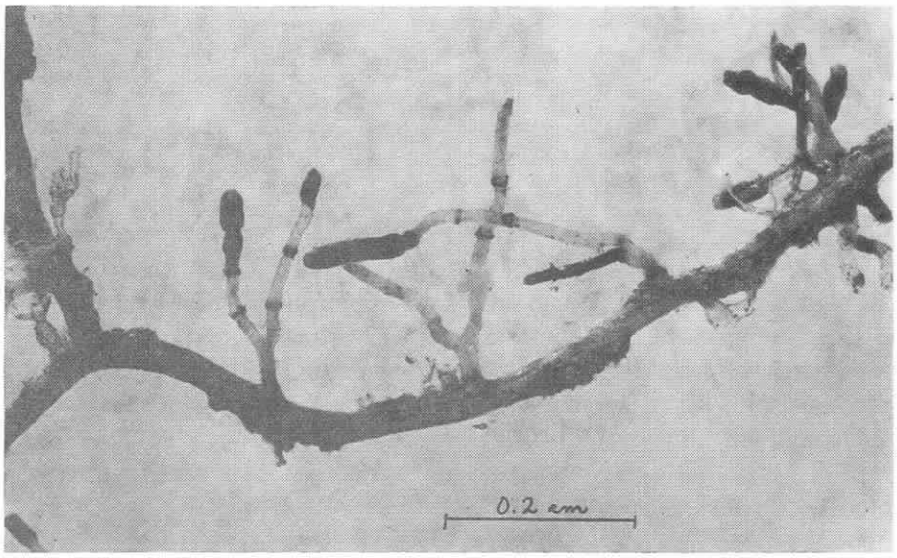


Fig. 15. Detalj fra fig. 14.
Detail from Fig. 14.

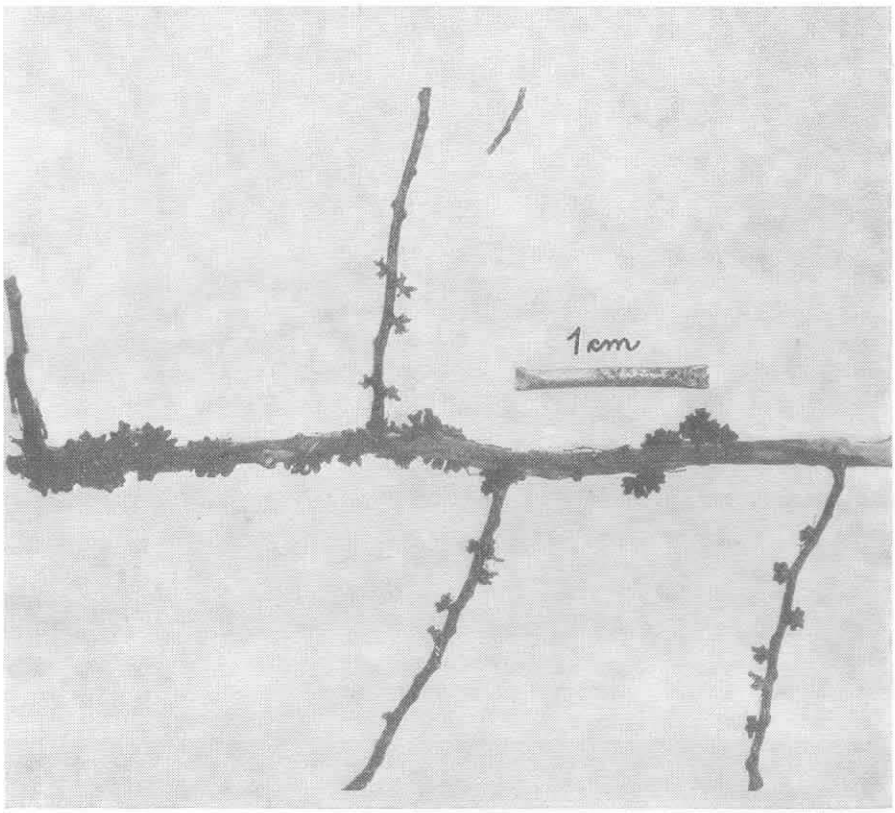


Fig. 16. Forvedet fururot med mykorrhiza.
Lignified pine root with mycorrhiza.

mot 1,46 m.e. i råhumusen omkring. Disse analyser ble gjort med ammonium-acetat-ekstraksjon (1 n, ph 7.)

Også for totalanalysen kom en del av disse forhold frem. Med hensyn på pH og basemetningsgrad var det små forskjeller, mens glødetapet var 65,9 % for funn-stedet og 83,3 % for råhumusen omkring. For mineraljorden under råhumusen var det ingen vesentlige forskjeller med hensyn på noen av de undersøkte faktorer.

Fig. 16 viser en forvedet (ca. 1,5 mm tykk) rot med mykorrhiza.

Fig. 17 viser en vanlig «korallmykorrhiza».

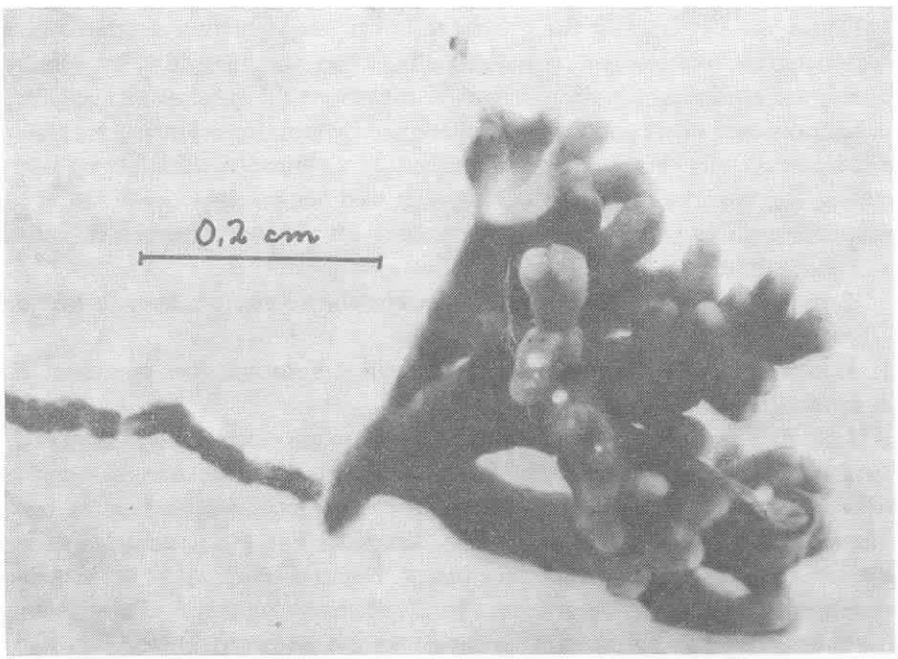


Fig. 17. «Korall-mycorrhiza» i enden på en tynn rot.
"Corall-mycorrhiza" at the end of a thin root.

Sammendrag

Rotprøver ble tatt opp med stålbor og lagret på fryselager (—6°C) før de ble spylt ut med vann. Et kritisk og avgjørende punkt i enhver rotundersøkelse er å bestemme om røttene er levende eller døde. I den foreliggende undersøkelse har man bare benyttet seg av lett observerbare kriterier: farge, konsistens, flyteevne og eventuelle levende rotspisser.

Fig. 3 og 4 viser middelfeilprosenten og dens variasjon med antall prøver for de ulike sjikt for røtter < 1 mm i diameter når disse er henholdsvis lengdemålt og veiet. Av begge figurer går det frem at middelfeilprosenten blir minst når sjikttykkelsen øker, dvs. når sjiktene slåes sammen. Størst middelfeil har 10–15 cm sjiktet hvor rotmengden er minst.

Av fig. 5 er det sluttet at vektmåling gir minst middelfeilprosent for måling av rotmengdene i råhumussjiktet, mens lengdemåling gir minst middelfeilprosent med hensyn på mineraljordsjiktene. Forskjellene er imidlertid ikke store. Av fig. 5 kan det også vurderes hvor mange prøver man må ta hvis man vil basere seg på vektmåling og ha samme presisjon som for lengdemåling.

Av fig. 6 går det frem at for grøvre røtter gir lengdemåling desidert bedre estimering av rotmengdene enn vektmåling. Det går også frem at antallet prøver må økes vesentlig dersom man er interessert i å estimere rotmengdene av rotfraksjoner større enn 1 mm i diameter med samme presisjon som for røtter mindre enn 1 mm. Fig. 7 viser sammenhengen mellom lengdemåling og vektmåling for finrotfraksjonen. Konklusjonen med hensyn på målemetode, er at vektmåling gir et brukbart og lett oppnåelig uttrykk for mengden av røtter < 1 mm i diameter.

Beregningene viser at det bare er liten korrelasjon mellom finrotmengdene i tilgrensende sjikt.

Det er ikke funnet noen sammenheng mellom finrotmengden og avstanden til nærmeste tre.

I fig. 10 er finrotfraksjonens variasjon gjennom vekstsesongen 1968 satt opp. Tørkeperiodene kan ikke forklare alle variasjoner i kurvene. Det kan derfor virke som om finrotmengdenes nivå ikke bare er nedbørstyrt, men at også trærnes autonomi kommer inn i bildet. Likeledes kan foregående års vekstperiode komme inn som en styrende faktor. Det er også antatt at det vil være av avgjørende betydning om trærnes dyprotsystem har kontakt med grunnvann. Dette er mulig for Sperillfeltet, grunnvannet ble registrert på ca. 4 m dyp.

I figurene 11, 12 og 13 er vist hvordan konsentrasjonen av ulike næringselementer har variert gjennom vekstsesongen 1968. Kurvene viser at største N-konsentrasjon har røtter (< 1 mm i diameter) fra råhumussjiktet. Deretter følger finrøttene fra 0–10 cm og 10–20 cm sjiktene. Tykke røtter har lavere N-innhold enn tynne. Det samme gjelder for kalsium og til dels for fosfor. For de øvrige elementer er forholdene ikke så utpregete. Sammenligner man kurvene for endringer i elementkonsentrasjonen med kurvene for endringer i rotmengde (fig. 10), går det frem at stor rotmengde har falt sammen med høy konsentrasjon av elementene N, K, P, Mn (se f.eks. for den 3/9). Dette er et vanlig mønster for voksende plantedeler: konsentrasjonen av visse elementer øker.

Tørkeforsøk viser at så lenge deler av et tre har adgang til vann, vil også vannbalansen i treets tørkeeksponerte deler bli opprettholdt. Tørkeforsøket indikerer også at trærnes suberiserte finrøtter er langt mer resistente overfor tørke enn mange har antatt.

Figurene 14, 15, 16 og 17 viser ulike typer fururøtter.

Problems of Methodology and General Root Relationships

Root samples were taken with a steel tube (diam. = 4.8 cm), stored under cold conditions (—6°C) before they were washed out with water. A conclusive point in every study of roots is to decide whether the roots are dead or alive. In this study only easy observable criteria have been used: colour, consistency, buoyancy, study of any root tips.

Fig. 3 and 4 show the standard error of the mean (%) and its variation for a number of root samples (roots < 1 mm in diam.) from different soil layers when these are measured lengthwise and weighed. From both figures it can be concluded that the standard error of the mean (%) is smallest when the thickness of the layers increases i.e. when the layers are put together. The largest standard error of the mean (%) was found in the deepest mineral soil layer (10–15 cm) where the root quantity was smallest.

From Fig. 5 it is concluded that weighing (dry weight) gives the smallest standar error of the mean (%) as a measure of the root quantities (< 1 mm) in the raw humus layer, while measuring lengthwise gives the smallest standard error of the mean (%) with respect to the mineral layers. However, the differences are small. From Fig. 5 it can also be judged how many additional samples must be taken if weighing is to have the same precision as measuring length wise. From Fig. 6 it can be seen that for thicker roots measuring lengthwise gives a markedly better estimation of the root quantities than weighing. It can also be seen that the number of samples must be increased essentially to estimate the quantity of roots fractions > 1 mm in diameter with the same precision as for roots < 1 mm in diameter. Fig. 7. shows the relationship between weight and length for the fine root fraction. The conclusion with respect to method of measuring, is that weight is a usable and easy obtainable expression for the quantities of roots < 1 mm in diameter.

Calculations show that there is only a very weak correlation between root quantities (< 1 mm) found in adjoining soil layers. If there are many roots in the raw humus, there is no reason to belive that there should be many or few in the adjoining mineral soil layers within the same sample.

There has not been found any correlation between the quantity of fine roots and the distance to the nearest tree.

Fig. 10 shows the variation in the length of fine roots for the growth season 1968. The drought periods cannot explain all variations. Therefore, it appears as if the quantities of fine roots are governed not only by the precipitation, but also by some tree characteristics (autonomi). In the same way, the previous growth period is supposed to be of importance. It is also assumed that it will

be of conclusive significance for the root development if the deep root system of the trees is in contact with the ground water. This is possible in this investigation. The ground water table was recorded at 4 m depth.

In figures 11, 12, and 13 the concentration of various elements are rendered, and how these have varied through the growth season 1968. The curves for nitrogen show the highest N-concentration in roots ($<$ 1 mm) from the raw humus layer. Thereafter follow the fine roots from the 0–10 and 10–20 cm layers. Thick roots have lower N-concentrations than thin roots within the same layer. The same conclusions can be made with respect to Ca and partly with respect to P. For the other elements there are not so great differences between layers. If one compares the curves for root quantity (Fig. 10) with the curves for element content, it can be seen that the high root quantity (3/9–1968) occurs with a high concentration of element (N, K, P, Mn). This is a regular pattern for all growing part of plants; the concentration of certain nutrients increases during growth because the dry matter content become low.

A drying experiments shows that as long as a part of the tree has access to water, the water balance in those parts exposed to drying will be maintained. The drying experiment also indicates that the suberized fine roots ($<$ 1 mm) are far more resistent to drying than usually suggested.

The figures 14, 15, 16 and 17 show different types of pine roots.

Litteratur

AITOLAHTI, M. 1969. Root/above-ground stand relationships in spruce stands growing on drained peatlands. Comm. inst. for. fenn. *68* (2). 38 pp.

BAGLAJ, A. N. 1965. (Seasonal changes in the growth of horizontal roots of Scots pine.) Nauc. Dokl. Vyss. Skoly (Biol. Nauki) *4*: 136–9.

CARLEY, H. E. and WATSON, R. D. 1966. A new gravimetric method for estimating root-surface areas. Soil Sci. *102* (5): 289–91.

HEIKURAINEN, L. 1957. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. Acta for. fenn. *65*. 54 pp.

KALELA, E. K. 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista I. Summary (On the horizontal roots in pine and spruce stand I). Acta for. fenn. *57*. 79 pp.

KALELA, E. K. 1955. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände im Laufe der Wegetationsperiode. Acta for. fenn. *65*. 41 pp.

KOHMANN, K. 1970. Levende stubber og rotsammenvoksninger, – en kuriositet? Norsk Skogbr. *16* (2): 38–41.

KORONOWSKI, P. 1969. Calsium. Handbuch der Pflanzenkrankheiten I (2): 62–89. Verlag Paul Parey. Berling und Hamburg.

LADEFOGED, K. 1938. Unhugningens Indflydelse på Trærøddernes Vækst. Dansk Skogforen. Tidsskr. *23*: 227–39.

LADEFOGED, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln. Forst. ForsVæs. Danm. *16*: 1–256.

LYR, H. and HOFFMANN, G. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. Int. Rev. For. Res. N.Y. *2*: 181–236.

MATERN, B. 1964. A method of estimating the total length of roots by means of a line survey. Appendix to studies of cross-country transport distances and road net extension by Gustav von Segebaden. Studia for. suec. (18): 68–70.

MELHUISH, F. M. 1968. A precise technique for measurement of roots and root distributions in soils. Ann. Bot. N.S. *32*: 15–22.

MENGEL, K. 1961. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 3 Auflage. Veb. Gustav Fischer Verlag. Jena. 322 pp.

NEWMAN, E. I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. J. appl. Ecol. *3* (1): 139–45.